Estudio de la calidad bacteriológica y parámetros fisicoquímicos del agua del Distrito de Riego 023

• Nami Morales-Durán • Anaí de la Torre-González •
• Víctor García-Sánchez • Carlos Chávez* •
Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México
*Autor para correspondencia

DOI: 10.24850/j-tyca-2018-01-04

Resumen

Morales-Durán, N., De la Torre-González, A., García-Sánchez, V., & Chávez, C. (enero-febrero, 2018). Estudio de la calidad bacteriológica y parámetros fisicoquímicos del agua del Distrito de Riego 023. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *9*(1), 53-67, DOI: 10.24850/j-tyca-2018-01-04.

San Juan del Río, Querétaro (México), es una de las regiones industriales más importantes del estado, lo que ha llevado a un gran desarrollo demográfico y el incremento en la demanda de recursos para satisfacer las necesidades de la población creciente, sobre todo en los recursos hídricos, como es el caso del Distrito de Riego 023 (DR 023), en el cual, 11 048 ha son destinadas a la producción de cultivos de importancia agrícola. Sin embargo, el problema que se presenta es que con el crecimiento demográfico de los últimos años, las áreas urbanas se han desarrollado cerca de la red de canales, lo que lleva consigo a la descarga de aguas negras a la red de distribución. En este trabajo se examinaron las concentraciones de bacterias coliformes fecales en el agua de 53 puntos del DR 023 en abril de 2015, así como las condiciones fisicoquímicas. Además, se compararon los niveles de coliformes fecales obtenidos con los permitidos por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015 y la NOM-001-Semarnat-1996. Se encontró que la mayoría de los puntos en los que se obtuvo muestra presentaron niveles altos de coliformes fecales y condiciones fisicoquímicas no ideales para su uso en el riego de cultivos. Estos resultados denotan la necesidad de un monitoreo constante de los cuerpos de agua destinados a la agricultura en la región, ya que los microorganismos indicadores fecales indican la potencial presencia de patógenos en el agua.

Palabras clave: contaminación del agua, coliformes fecales, calidad bacteriológica

Abstract

Morales-Durán, N., De la Torre-González, A., García-Sánchez, V., & Chávez, C. (January-February, 2018). Study of the bacteriological quality and physiochemical parameters of water from the Irrigation District 023. Water Technology and Sciences *(in Spanish), 53-67, 9(1), DOI: 10.24850/j-tyca-2018-01-04.*

San Juan del Río, Querétaro (Mexico), is one of the most important industrial regions of the state, which has led to a great demographic development and the increase in the demand of resources to meet the needs of the growing population, especially in water resources, such as the Irrigation District 023 (DR 023), in which 11 048 ha are destined to the production of crops of agricultural importance. However, with population growth of recent years, urban areas have developed near the canal network, which carries the wastewater discharge to the distribution network. In this work the concentrations of fecal coliform bacteria in the water of 53 points of the DR 023 in April 2015, and the physicochemical conditions were examined. In addition, fecal coliform obtained levels were compared with those permitted by the Federal Law of Rights and Applicable Disposition on Matters of National Waters 2015 and NOM-001-Semarnat-1996. We found that most of the points on which sample was obtained, showed high levels of fecal coliform and physicochemical conditions not appropriate for use in irrigation. These results indicate the need for constant monitoring of water bodies for agriculture in the region, as fecal indicator organisms indicate the potential presence of pathogens in the water.

***Keywords**: Water contamination, fecal coliform, bacteriological quality.*

Recibido: 22/07/2016
Aceptado: 01/08/2017

Introducción

Debido al incremento de la población mundial, la demanda de agua ha aumentado por la necesidad de producir más alimentos (Mazari-Hiriart *et al*., 2008). En México, gran parte del agua es empleada en el sector agrícola (Conagua, 2014a), sin embargo, la demanda de agua dulce es superior a su disponibilidad para la agricultura; por ello se recurre al uso de aguas residuales tratadas y no tratadas (Huibers & Van Lier, 2005; Mazari-Hiriart *et al*., 2008).

Como se menciona en el estudio de Mazari-Hiriart *et al*. (2008), México es uno de los principales países que emplea aguas residuales tratadas para el riego, pero la mayoría de las veces no se tiene un control de la calidad del agua. Dado el origen de este tipo de agua, existen normas que establecen indicadores físicos, químicos y biológicos, como coliformes fecales, huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST), pH y temperatura (Conagua, 2014a y 2014b; NOM-001-Semarnat-1996), que establecen su respectivo límite máximo permitido para mantener la calidad requerida, según sea su uso y destino (Conagua, 2013). Se han realizado estudios sobre la calidad del agua en diferentes distritos de riego de la república mexicana. Por ejemplo, Ahumada y colaboradores reportaron en una sección de 3.6 km del canal La Michoacana en Navolato, Sinaloa, un gran número de bacterias coliformes fecales del género *Enterobacter*, *Escherichia* y *Kluyvera*. Esto fue atribuido a que el canal recibe escurrimientos de riego, descargas de drenajes domésticos, aguas residuales y desechos sólidos (Ahumada-Santos *et al*., 2014).

Estudios similares en el DR 035, La Antigua Veracruz, el DR 009 Valle de Juárez, Chihuahua y el DR 049, Río Verde, San Luis Potosí reportan que las cantidades de coliformes fecales están por encima de lo que indica la NOM-001-Semarnat-1996 (Megchún-García *et al*., 2015; Olivas-Enriquez *et al*., 2011; Sarabia-Meléndez, Cisneros-Almazán, Aceves-de-Alba, Durán-García, & Castro-Larragoitia, 2011) e incluso, en un estudio realizado en el Valle del Mezquital dentro del DR 003 y DR 100, se reportó la presencia de parásitos de importancia clínica, como *Ascaris lumbricoides*, *Giardia lamblia* y *Entamoeba histolytica* (Cifuentes, Blumenthal, Ruíz-Palacios, Bennett, & Peasey, 1994; Hernández-Acosta, Quiñones-Aguilar, Cristóbal-Acevedo, & Rubiños-Panta, 2014).

Respecto a las variables fisicoquímicas en el DR 030, se examinaron los niveles de pH, temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y salinidad, entre otras, y se determinó que el agua de ese sitio no es recomendable para uso agrícola (Bonilla, Ayala-Osorio, González-Contreras, Santamaría-Juárez, & Silva-Gómez, 2016).

En un estudio realizado por Saldaña-Fabela, Díaz-Pardo y Gutiérrez-Hernández (2011), se analizó la calidad fisicoquímica del agua en tres puntos del DR 023, San Juan del Río. En dicho estudio se concluyó que el agua de esta región no es apta para ser utilizada en el riego agrícola ni en la conservación de la biota y la piscicultura; se consideró al sistema como eutrófico.

La información fisicoquímica y bacteriológica del agua en el DR 023 es escasa; sin embargo, la región está catalogada en riesgo ambiental, ya que presenta un alto grado de contaminación (Saldaña-Fabela, Díaz-Pardo, & Gutiérrez-Hernández, 2011; Vázquez-Sánchez & Pineda-López, 2010), por lo que requiere de una actualización. El objetivo de este trabajo fue presentar un análisis de la calidad del agua en el DR 023 en el mes de abril de 2015, a fin de conocer el estado actual de los recursos hídricos de la región, así como alertar de un posible riesgo de contaminación en los cuerpos de agua. Se espera que el agua del DR 023 esté contaminada principalmente por las diferentes descargas de las aguas residuales que recibe, debido a la falta de monitoreo para regular estas fuentes de contaminación.

• ISSN 0187-8336

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El Distrito de Riego 023 se encuentra ubicado entre los municipios de San Juan del Río y Pedro Escobedo en el estado de Querétaro, México, y posee una superficie de 11 048 ha. El agua para el riego se obtiene de las presas San Ildefonso, Constitución de 1917 y La Llave, así como del bordo La Venta, y de 54 pozos profundos (Cisneros-Estrada & Castanedo-Guerra, 2014). Se realizó un muestreo aleatorio en 44 puntos, una muestra por punto, en la red de abastecimiento de agua de riego en el DR 023: cinco presas, cuatro represas, tres canales principales, 17 canales laterales, dos canales sublaterales, dos en diferentes puntos del río San Juan, tres obras de toma, dos fuentes de abastecimiento y seis descargas de aguas tratadas, y nueve puntos en los drenes con ubicación cercana a algunos puntos del muestreo (cuadro 2). Los resultados que se muestran en el cuadro 2 se explican con detenimiento en la sección de resultados.

Toma de muestra

De acuerdo con la disponibilidad de agua, durante abril de 2015 se tomaron muestras de 53 puntos en el Distrito de Riego 023, San Juan del Río (Figura 1). Las muestras de agua fueron colectadas en frascos de plástico de 100 ml, previamente rotulados. Se cubrieron con papel aluminio y fueron depositados en hieleras para su posterior análisis en el laboratorio. Se obtuvieron valores fisicoquímicos de pH,

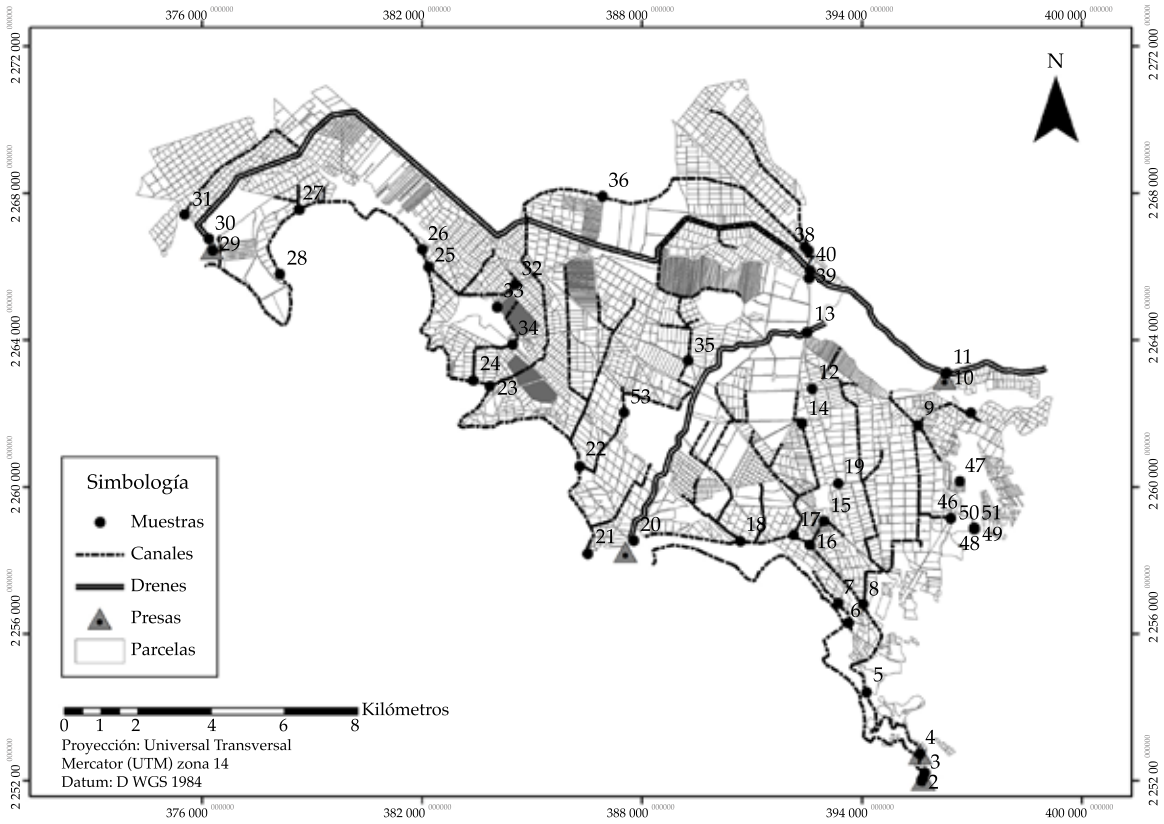

Figura 1. Mapa de localización de los puntos de muestreo en el Distrito de Riego 023 San Juan del Río, Querétaro. Los puntos 41-45 no aparecen en el mapa por cuestiones de escala; sin embargo, los puntos 44 y 45 son las fuentes de alimentación de la presa de San Ildefonso (punto 43).

ISSN 0187-8336

conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT) y temperatura (T), con el medidor multiparamétrico portátil HI9813-5 en la misma zona en el que se tomaron las muestras de agua (cuadro 2).

Aislamiento de coliformes y enterobacterias

En condiciones de esterilidad en el laboratorio, las muestras fueron homogenizadas y de acuerdo con el grado de turbidez, se realizaron diluciones con agua destilada estéril. De la dilución obtenida se tomó un mililitro y por triplicado se inoculó en placas 3M™ Petrifilm™ para coliformes y enterobacterias, siguiendo las instrucciones del fabricante. Sin embargo, este método no cuenta con la sensibilidad necesaria para poder identificar a nivel de género (p. ej., *Escherichia*, *Klebsiella*) sino que permite distinguir entre grupos de bacterias que pueden fermentar lactosa y están asociados con patógenos. Las placas fueron incubadas a 37 °C por 24 horas. El conteo de coliformes se llevó a cabo por el método aprobado por la Asociación Francesa de Normalización (3M Microbiology, 2003), el cual consiste en contar todas las colonias rojas con o sin producción de gas. En algunos casos, donde el crecimiento de colonias fue abundante (mayor a 150 UFC), se realizó el conteo mediante cuadrantes, en el cual se cuentan las colonias de varios cuadrantes representativos, se obtiene el promedio y se multiplica por 20 (ya que el área de crecimiento de la placa es de 20 cm^2). Para el análisis de calidad de agua se compararon con los límites máximos permitidos de coliformes fecales de la norma NOM-001-Semarnat-1996 debido a que esta norma regula los niveles de contaminantes en las descargas de aguas residuales que se vierten en aguas y bienes nacionales. Sin embargo, en la actualidad no existe una norma que regule la calidad del agua que sea específica para los bienes nacionales o el agua de riego, por ello se tomó como referencia la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015 (cuadro 1), para comparar las muestras que pertenecen a toda la red de distribución, con excepción de los puntos correspondientes a drenes.

Pruebas estadísticas

Los datos de las muestras se clasificaron en grupos según la muestra de procedencia: laterales, sublaterales, fuentes de abastecimiento, canales principales, descargas, presas, represas, obras de toma y drenes. Al no cumplir con los supuestos de normalidad, se realizó una prueba unilateral no paramétrica (Kruskal-Wallis) para ver las diferencias entre la medias de los grupos, posteriormente se realizó la prueba de Dunn, que es una prueba de comparación múltiple y se aplica cuando se da el rechazo de la prueba de Kruskal-Wallis, y determina diferencias o similitudes dentro de los grupos de los que se obtuvieron muestras.

Cuadro 1. Normas empleadas como referencia para establecer los límites máximos permitidos.

Norma	Parámetro	Límite máximo	Tipo de agua
NOM-001-Semarnat-1996	Coliformes fecales	1000 - 2000 NMP por cada 100 ml	Descargas de aguas residuales
	pH	5-10	
	Temperatura	40 °C	
Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015	Coliformes fecales	1 000 NMP por cada 100 ml	Aguas nacionales: mares, lagunas, esteros, lagos, agua de corrientes constantes e intermitentes, ríos y afluentes directos e indirectos, manantiales, cauces, vasos, riberas y agua de subsuelo
	pH	6.0 - 9.0	
	Sólidos disueltos	500 mg/l	

Tecnología y Ciencias del Agua, vol. IX, núm. 1, enero-febrero de 2018, pp. 53-67
• ISSN 0187-8336

Resultados

a) Resumen de datos fisicoquímicos y tipo de agua de acuerdo con la carga de coliformes totales y fecales

Las condiciones fisicoquímicas, como pH, T, SDT y CE de las diferentes zonas se muestran en el cuadro 2. Estos resultados se compararon cuando resultaba pertinente con los valores máximos permisibles que establece la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014 y la NOM-001-Semarnat-1996.

De manera general, la temperatura del agua se encontró dentro el rango de 15 a 30 °C. El punto de la Obra de Toma San Ildefonso (punto 1) y Obra de Toma San Ildefonso (punto 2) fueron los sitios que presentaron las temperaturas más bajas (15 y 15.2 °C, respectivamente), mientras que la descarga de la empresa Kimberly fue el punto con la temperatura más alta (30 °C). La temperatura de las descargas se comparó con los valores indicados por la NOM-001-Semarnat-1996; ninguna de las descargas sobrepasó el límite de 40 °C (cuadro 2).

Respecto a la CE, el valor mínimo fue 50 µS/cm y el valor máximo resultante fue de 7 580 µS/cm, el cual correspondió a la descarga municipal llamada San Pedro 1. Los valores de CE no se encuentran regulados por ninguna legislación o norma mexicana, por lo que no se compararon con valores estándar (cuadro 2), sin embargo se discutirá más adelante el efecto de este parámetro sobre la calidad del agua.

En el caso de sólidos disueltos, se tomó como base la Ley de Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015, la cual indica un valor máximo de 500 mg/l. En el DR 023 se observó que los puntos brazo izquierdo río San Juan, aguas abajo descarga municipal San Pedro 1, aguas arriba de las descargas y el río San Juan fueron los sitios con el mayor valor de sólidos disueltos, con un valor de 10 000 ppm; mientras que el valor mínimo obtenido fue de 10 ppm, correspondiente al lateral 13+103. Los valores más altos que se obtuvieron inclusive sobrepasan los límites máximos para agua potable establecido por la NOM-127-SSA1-1994, que establece como valor máximo 1 000 ppm.

Los valores de pH se encontraron en el intervalo de 6.6 y 9.5. Respecto al agua de las descargas, ningún punto superó el límite de pH indicado por la NOM-001-Semarnat-1996 (pH 10). Sin embargo, al comparar los valores obtenidos con la Ley federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015, los puntos que superaron el límite máximo de pH fueron la presa La Venta y el sublateral 2+407, que se localiza en el camino a Chintepec, con un pH de 9.3 y 9.5, respectivamente.

Para verificar la validez del uso del agua en el riego de hortalizas y conocer las condiciones bacteriológicas del agua del DR 023, se clasificaron los puntos de muestreo como indica la NOM-CCA-033-ECOL/1993 con respecto a los coliformes totales y los coliformes fecales en 100 ml de agua. Quince puntos se clasificaron como agua tipo IV, que es el agua que contiene más de 100 000 coliformes fecales; 26 puntos están en la categoría tipo III, aquella que contiene de 1 001 a 100 000 coliformes fecales; dos puntos como agua tipo II, que contiene de 1 a 1 000 coliformes fecales, y por último se encontraron tres puntos como agua tipo I, que contiene menos de 1 000 coliformes totales. Siete puntos no se pudieron clasificar de acuerdo con la NOM-CCA-033-ECOL/1993 debido a que el crecimiento de coliformes fecales fue menor a 1 000 (cuadro 2).

b) Conteo de coliformes fecales en los puntos de muestreo

De los 53 puntos analizados del DR 023 se obtuvieron muestras de seis descargas de aguas (figura 2), de las cuales, al realizar el conteo de las UFC de coliformes fecales, se observó que todas las muestras, excepto la descarga de Kimberly, sobrepasaron el límite máximo indicado por la NOM-001-Semarnat-1996 (figura 2). Los puntos con la mayor cantidad de coliformes fecales en las descargas fueron la descarga municipal San Pedro 1 con 41×10^6 UFC en 100 ml de agua. La descarga Ponderosa fue la que presentó menor

ISSN 0187-8336

• *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. IX, núm. 1, enero-febrero de 2018, pp. 53-67

• ISSN 0187-8336

Cuadro 2. Descripción de las condiciones de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, potencial de hidrógeno (pH) y promedio de UFC para coliformes totales, fecales y enterobacterias de los puntos de toma de muestra del Distrito de Riego 023, así como la clasificación de los tipos de agua de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOMCCA-033-ECOL/1993. El guión "-" se empleó para datos que no entran en la clasificación con base en la norma. El signo "x" se empleó para muestras que no presentaron coliformes totales y que no entran dentro de la clasificación de la norma.

						Promedio de UFC/100 ml				
Punto	**Nombre**	**Temperatura (°C)**	**Conductividad eléctrica (mS/cm)**	**Sólidos disueltos (ppm)**	**pH**	**Coliformes totales**	**Coliformes fecales**	**Enterobacterias**	**Tipo de agua según la carga de coliformes fecales (NOMCCA-033-ECOL/1993)**	**Tipo de agua según la carga de coliformes totales (NOMCCA-033-ECOL/1993)**
1	Descarga Kimberly	30	0.37	200	7.6	$3.7x10^{7}$	0	$8.5\ x10^{3}$	-	-
2	Presa Constitución 1857	18	0.09	78	8.2	$5.1\ x10^{4}$	$5.3\ x10^{3}$	$6.7\ x10^{3}$	Tipo 3	-
3	Desarenador Constitución 1857	17	0.1	82	7.5	$1\ x10^{5}$	0	$2.3\ x10^{4}$	-	-
4	Presa derivadora Lomo de Toro	19.6	0.05	97	7	$3.8\ x10^{4}$	$3\ x10^{3}$	$1.4\ x10^{4}$	Tipo 3	-
5	Estación de aforo Lomo de Toro	20.2	0.1	80	6.9	0	0	0	-	x
6	Canal lateral Kimberly	21.6	1.29	950	7.6	$8.9\ x10^{4}$	$1\ x10^{3}$	$9.3\ x10^{3}$	Tipo 2	-
7	Regadera Kimberly	21.6	1.1	96.9	8	$3.5\ x10^{5}$	$4\ x10^{3}$	$3.7\ x10^{4}$	Tipo 3	-
8	Lateral 6+640	20.2	0.1	80	7.3	$9.4\ x10^{4}$	$2\ x10^{3}$	$5.3\ x10^{3}$	Tipo 3	-
9	Represa Pozo 7	20.7	0.1	82	7.2	$4.9\ x10^{4}$	$2\ x10^{3}$	$5\ x10^{3}$	Tipo 3	-
10	Presa La Llave	18.4	1.52	388	6.6	$2.9\ x10^{6}$	$1.7\ x10^{6}$	$3\ x10^{3}$	Tipo 4	-
11	Dren Culebra	19.8	0.77	580	7.1	$1.6\ x10^{8}$	$2.2\ x10^{7}$	$1.7\ x10^{4}$	Tipo 4	-
12	Dren Santa Matilde (punto medio)	21.1	0.44	305	6.8	$1.1\ x10^{6}$	$5.6\ x10^{5}$	$1.7\ x10^{3}$	Tipo 4	-
13	Dren Caracol Organal	20.3	0.34	200.49	6.9	$3.1\ x10^{4}$	$1.6\ x10^{3}$	$2.8\ x10^{3}$	Tipo 3	-
14	Sublateral 9+345	21.8	0.16	124	7.3	$7.8\ x10^{4}$	$3\ x10^{4}$	$8.5\ x10^{3}$	Tipo 3	-
15	Lateral 8+705 puente	22.2	0.19	146	8.9	$1.2\ x10^{8}$	$2.1\ x10^{7}$	$3.4\ x10^{4}$	Tipo 4	-
16	Lateral 9+345 después de pozo 17	24.3	0.13	98	7.4	$3.3\ x10^{4}$	$1.1\ x10^{4}$	$5.5\ x10^{4}$	Tipo 3	-
17	Lateral 8+705 junto al pozo 15	21	0.08	70	7.6	$2.0\ x10^{4}$	$1.3\ x10^{3}$	$9.9\ x10^{3}$	Tipo 3	-
18	Lateral 10+795 junto al pozo 23	21.6	0.08	62	7.4	$2.5\ x10^{4}$	$5.3\ x10^{3}$	$5.1\ x10^{4}$	Tipo 3	-

Cuadro 2 (continuación). Descripción de las condiciones de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, potencial de hidrógeno (pH) y promedio de UFC para coliformes totales, fecales y enterobacterias de los puntos de toma de muestra del Distrito de Riego 023, así como la clasificación de los tipos de agua de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOMCCA-033-ECOL/1993. El guión "-" se empleó para datos que no entran en la clasificación con base en la norma. El signo "x" se empleó para muestras que no presentaron coliformes totales y que no entran dentro de la clasificación de la norma.

						Promedio de UFC/100 ml				
Punto	**Nombre**	**Temperatura (°C)**	**Conductividad eléctrica (mS/cm)**	**Sólidos disueltos (ppm)**	**pH**	**Coliformes totales**	**Coliformes fecales**	**Enterobacterias**	**Tipo de agua según la carga de coliformes fecales (NOMCCA-033-ECOL/1993)**	**Tipo de agua según la carga de coliformes totales (NOMCCA-033-ECOL/1993)**
19	Dren Santa Matilde (inicio)	21.7	0.32	240	7.2	4.2×10^4	2.6×10^3	1.4×10^4	Tipo 3	-
20	Tanque amortiguador dren Caracol	22	0.2	223	6.7	2.3×10^3	0	3×10^2	-	-
21	Obra de toma de la presa Constitución 1917	26.4	0.12	51	8.3	2.6×10^4	1×10^3	8.9×10^3	Tipo 2	-
22	Lateral 2+607	23.7	0.12	92	6.7	7.2×10^4	4.3×10^4	6.4×10^3	Tipo 3	-
23	Lateral 8+100	24.6	0.12	99	7.3	4×10^4	2×10^4	4.3×10^3	Tipo 3	-
24	Lateral 8+590 punto inicial	23.6	0.1	87	7.3	8.3×10^4	5×10^4	4.5×10^3	Tipo 3	-
25	Lateral 13+103	23.2	0.14	10	7.1	6.2×10^4	3.6×10^4	6.7×10^3	Tipo 3	-
26	Lateral 13+163 (inicio) cerca del pozo 41	24.1	0.15	117	7.1	1×10^5	6.6×10^4	1.6×10^4	Tipo 3	-
27	Lateral 17+810 del pozo 44	25.7	0.15	114	6.8	4.9×10^4	1.6×10^4	6.2×10^3	Tipo 3	-
28	Represa radial 9	27.5	0.27	199	6.7	0	0	1×10^3	-	x
29	Presa La Venta	27.3	0.35	250	9.3	7.8×10^4	1.3×10^4	1.4×10^4	Tipo 3	-
30	Dren Culebra (inicio)	22.8	0.59	429	7.3	1.4×10^7	1.9×10^6	2×10^4	Tipo 4	-
31	Obra de toma de la presa La Venta	27.8	0.23	167	8.2	7.3×10^4	3.3×10^3	3.4×10^4	Tipo 3	-
32	Canal lateral 13+103 (final) pozo 38	24.8	0.34	245	8.8	9.6×10^3	3.6×10^4	2.8×10^4	Tipo 3	-
33	Dren La D	24.9	0.62	448	7.5	2.8×10^6	1.4×10^6	3.9×10^3	Tipo 4	-
34	Lateral 8+590 antes de Panamericana	22.4	0.12	98	7.8	7.3×10^4	4.3×10^4	4.8×10^3	Tipo 3	-
35	Sublateral 2+407 camino a Chintepec	23.8	0.12	92	9.5	1×10^5	3×10^3	6.3×10^4	Tipo 3	-
36	Lateral 8+100 cruce a camino a Chintepec	24	0.12	95	8.7	3.3×10^4	1.3×10^4	2.8×10^3	Tipo 3	-

• *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. IX, núm. 1, enero-febrero de 2018, pp. 53-67

• ISSN 0187-8336

Cuadro 2 (continuación). Descripción de las condiciones de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, potencial de hidrógeno (pH) y promedio de UFC para coliformes totales, fecales y enterobacterias de los puntos de toma de muestra del Distrito de Riego 023, así como la clasificación de los tipos de agua de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOMCCA-033-ECOL/1993. El guión "-" se empleó para datos que no entran en la clasificación con base en la norma. El signo "x" se empleó para muestras que no presentaron coliformes totales y que no entran dentro de la clasificación de la norma.

						Promedio de UFC/100 ml				
Punto	**Nombre**	**Temperatura (°C)**	**Conductividad eléctrica (mS/cm)**	**Sólidos disueltos (ppm)**	**pH**	**Coliformes totales**	**Coliformes fecales**	**Enterobacterias**	**Tipo de agua según la carga de coliformes fecales (NOMCCA-033-ECOL/1993)**	**Tipo de agua según la carga de coliformes totales (NOMCCA-033-ECOL/1993)**
37	Lateral 8+100 (final)	26.7	1.22	880	7.5	1.3×10^{6}	0	1×10^{3}	-	-
38	Canal de llamada bombas "La Valla"	23	1.85	1354	7.5	2.1×10^{7}	1.3×10^{6}	4.9×10^{3}	Tipo 4	-
39	Dren Lourdes	22.7	1.78	1322	7.6	1.3×10^{7}	3.6×10^{6}	9×10^{3}	Tipo 4	-
40	Dren Culebra, puente	26.4	1.56	1133	7.6	1.8×10^{7}	3.3×10^{5}	3.2×10^{3}	Tipo 4	-
41	Obra de toma San Ildelfonso punto 1	15	0.09	73	7.5	0	0	1.2×10^{3}	-	x
42	Obra de toma San Ildelfonso punto 2	15.2	0.09	66	7.8	1.6×10^{3}	0	6×10^{2}	-	-
43	Vaso de la presa San Ildelfonso	21.1	6.1	79	8.6	8.7×10^{4}	3.5×10^{4}	1.2×10^{4}	Tipo 3	-
44	La Cascada Ñado	17.4	0.17	130	7.4	3.6×10^{3}	0	2.4×10^{3}	-	-
45	Río Prieto	21.7	0.06	47	7.3	8.3×10^{3}	0	3.1×10^{3}	-	-
46	Brazo izquierdo río San Juan	22	5.15	10000	8.6	9.7×10^{4}	3.3×10^{3}	1.4×10^{4}	Tipo 3	-
47	Descarga de planta tratadora San Pedro 2	28.5	2.41	1720	7.5	7.8×10^{6}	4.1×10^{6}	9.5×10^{3}	Tipo 4	-
48	Aguas debajo de la descarga San Pedro 1	27	2.73	10000	7.7	1.4×10^{8}	4.1×10^{7}	4.1×10^{3}	Tipo 4	-
49	Descarga municipal San Pedro 1	27.6	7.58	10000	7.5	8.4×10^{6}	4.2×10^{6}	3.8×10^{4}	Tipo 4	-
50	Descarga Ponderosa	27.8	2.2	1644	7.5	3.7×10^{6}	1.7×10^{6}	3.8×10^{3}	Tipo 4	-
51	Antes de las descargas	26.5	4.7	10000	7.9	5.2×10^{7}	2.1×10^{7}	6.5×10^{3}	Tipo 4	-
52	Río San Juan	28.2	2.98	10000	7.3	7.9×10^{6}	5.6×10^{6}	2.7×10^{3}	Tipo 4	-
53	Canal lateral 2+607 después del pozo 27	25.2	0.13	98	8.2	6.3×10^{4}	5.3×10^{3}	1×10^{4}	Tipo 3	-

cantidad de coliformes fecales, con $1.73x10^6$ UFC en 100 ml.

La calidad del agua de las presas se rige bajo el límite indicado por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015. Se tomó muestra de cinco presas en el Distrito de Riego 023 (figura 3) y en todos los casos las cantidades de coliformes fecales se encuentran por encima del límite máximo permisible; la presa Constitución 1917 es el punto con la menor cantidad de coliformes fecales, aunque se está justo en el límite máximo permitido (1 000 UFC/100 ml). El punto con la mayor cantidad de coliformes fecales corresponde a la presa La Llave, con $1.73x10^6$ UFC/100 ml (figura 3).

De los cuatros puntos correspondientes a represas, dos sobrepasaron el límite máximo permisible de coliformes fecales. La cantidad máxima de coliformes fecales para represas fue de $3x10^3$ UFC/100 ml, mientras que los puntos correspondientes al desarenador Constitución 1857 y represa radial 9 no presentaron crecimiento de coliformes fecales.

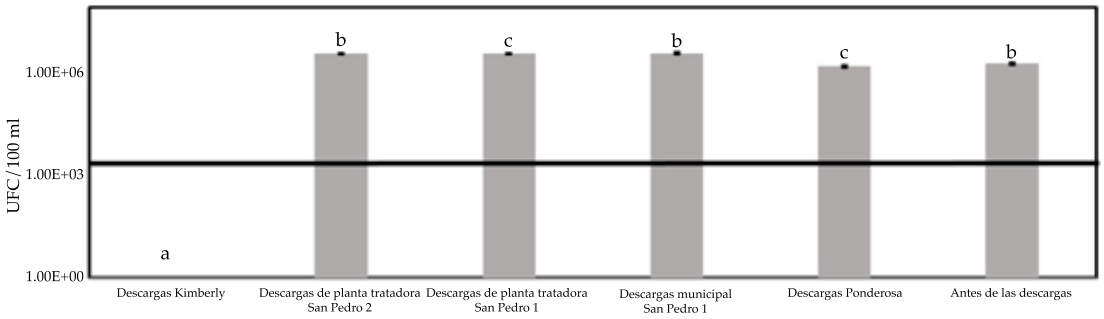

Figura 2. Recuento de UFC de coliformes fecales en agua de descargas del Distrito de Riego 023. La línea negra representa el límite máximo permitido de coliformes fecales (2 000 en cada 100 ml como NMP equivalente a UFC) establecido por la norma NOM-001-Semarnat-1996. El gráfico está representado en escala logarítmica a, b, c. Las letras iguales indican que las muestras son estadísticamente iguales ($P < 0.05$).

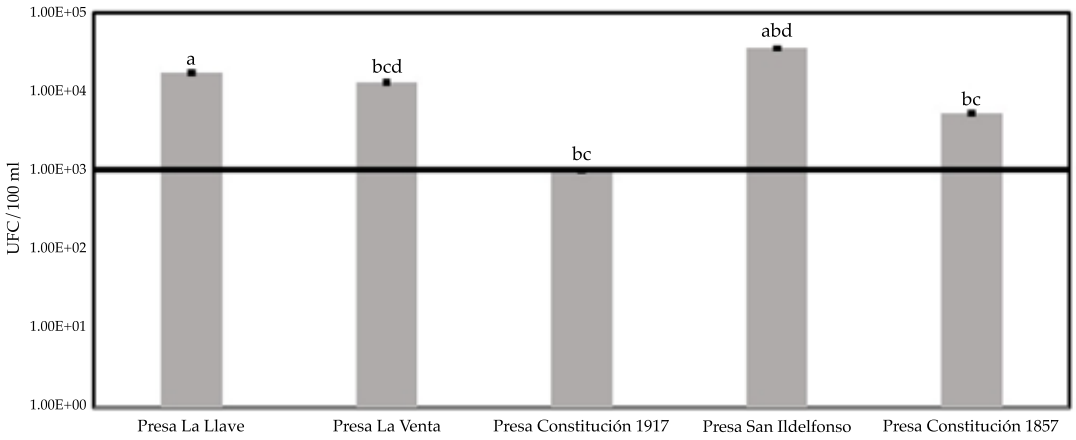

Figura 3. Recuento de UFC de coliformes fecales en agua de presas del Distrito de Riego 023. La línea negra representa el número máximo permitido de coliformes fecales (1 000/100ml como NMP equivalente a UFC) establecido por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015. El gráfico está en escala logarítmica a, b, c, d. Las letras iguales indican que las muestras son estadísticamente iguales ($P < 0.05$).

ISSN 0187-8336

Se tomó muestra en tres puntos de dos obras de toma en el DR 023 (cuadro 2). De éstas, la obra de toma de la presa La Venta sobrepasó el límite indicado por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015, con $3.3x10^3$ UFC en 100 ml de agua.

Se tomó muestra de dos sublaterales (cuadro 2) y ambos sobrepasaron el límite correspondiente de coliformes fecales, siendo el sublateral 9+500 el punto con la mayor cantidad de coliformes fecales, con $30.6x10^3$ UFC/100 ml. Dentro del DR 023, los tres canales laterales muestreados presentaron crecimiento de coliformes fecales por encima del límite permitido (cuadro 2). El canal lateral con la mayor cantidad de coliformes fecales es el canal lateral 2+607, mientras que el canal lateral Kimberly se encuentra justo en el límite máximo de coliformes fecales (1 000 UFC/100 ml).

Se tomó muestra de dos puntos distintos del río San Juan (figura 4), y en ambos puntos se superó el límite máximo permisible de bacterias coliformes fecales que indica la norma, con $5.66x10^6$ UFC/100 ml. El brazo izquierdo río San Juan presentó mucho menos coliformes fecales, pero aun así superó el límite con $3.33x10^3$ UFC/100 ml.

Adicionalmente, se tomó muestra de nueve drenes del DR 023 (cuadro 2). Debido a su procedencia, este tipo de agua no se rige bajo ninguna norma que indique límite alguno de coliformes fecales, sin embargo, casi todos, con excepción del tanque amortiguador del dren Caracol, presentaron elevadas cantidades de coliformes fecales, mientras que el punto donde se obtuvieron más coliformes fecales fue el dren Culebra, con $22.66x10^6$ UFC/100 ml.

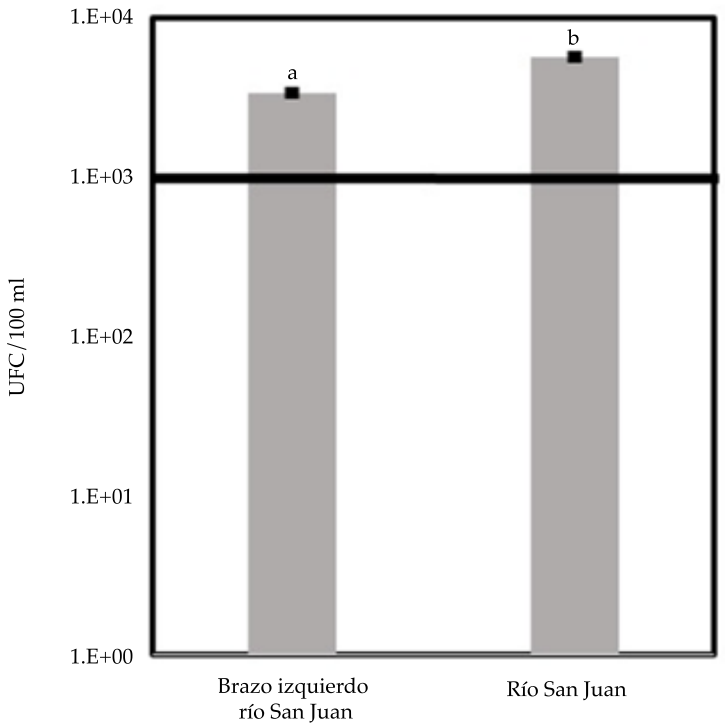

Figura 4. Recuento de UFC en agua de diferentes puntos del río San Juan del Distrito de Riego 023. La línea negra representa el número máximo permisible de coliformes fecales (1 000/100ml como NMP equivalente a UFC) establecido por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015, a, b. Las letras iguales indican que las muestras son estadísticamente iguales ($P < 0.05$).

• ISSN 0187-8336

Por otra parte, el agua de laterales (cuadro 2) tuvo resultados contrastantes con respecto a los resultados del conteo de UFC, ya que sólo el agua del lateral 8+100 final no presentó coliformes fecales (cuadro 2). Todos los laterales restantes presentaron una gran cantidad de UFC que excedió el límite marcado por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015, siendo el lateral 8+705 puente el punto con más coliformes, con 21.66×10^6 UFC por cada 100 ml. Tres canales principales fueron muestreados en el Distrito de Riego 023 (10) sobre estos dos puntos; el canal de llamada bombas "La Valla" y el canal de descarga Kimberly sobrepasaron el límite establecido por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015, con 1.33×10^6 y 4×10^3 UFC/100 ml, respectivamente. En el caso del otro canal principal, la estación de aforo Lomo de Toro no se presentó crecimiento de bacterias coliformes fecales.

Discusión

Debido a las condiciones áridas de México se ha emplazado al uso de cualquier fuente de agua económica y eficaz para promover el desarrollo en masa de productos agrícolas (Pescod, 1992). Sin embargo, se deben considerar y evaluar determinadas variables fisicoquímicas, como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y temperatura, para poder avalar el uso de distintas fuentes de agua, ya que éstas influyen en la supervivencia de microrganismos en el agua (Ayers & Westcost, 1994; Medema *et al*., 2013). De acuerdo con Pescod (1992), y Ayers y Westcost (1994), el intervalo ideal del agua de riego respecto al pH oscila entre 6.5 a 8.4; con base en ello, el agua de la mayoría de los sitios muestreados es ideal para el crecimiento de hortalizas, a excepción de siete puntos: sublateral 2+407 camino a Chintepec; presa La Venta; lateral 8+705 puente; canal lateral 13+103 (final) pozo 38; lateral 8+100 cruce a camino a Chintepec; vaso de la presa San Ildelfonso, y el brazo izquierdo río San Juan. Los puntos como la obra de toma de la presa Constitución 1917, presa Constitución 1857, obra de toma de la presa La Venta, canal lateral 2+607 después del pozo 27 están próximos a alcanzar y superar el nivel establecido. En México, la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015 indica un valor máximo de nueve unidades, por lo que bajo este límite el agua de la presa La Venta y el sublateral 2+407 camino a Chintepec no son viables para el riego de cultivos. En el caso del agua de las descargas que se rigen con otro valor límite de pH, ningún sitio superó los límites establecidos por la NOM-001-Semarnat-1996.

Los sólidos disueltos totales (SDT) es una variable que indica el valor de los compuestos inorgánicos y orgánicos en cuerpos de agua (Fipps, 2003), muchos de los cuales son aprovechados por los microrganismos para poder proliferar y desarrollarse. De manera general, la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015 indica un valor para SDT de 500 ppm en agua destinada al riego agrícola. Con base en esto, en el DR 023 existen 13 sitios, entre los que resaltan el río San Juan, brazo izquierdo río San Juan, aguas debajo de la descarga San Pedro 1, descarga municipal San Pedro 1 y antes de las descargas, descarga de planta tratadora San Pedro 2, descarga Ponderosa, canal de llamada bombas La Valla. Fipps (2003) clasificó el posible uso del agua de riego con base en la cantidad de SDT y a partir de ello, el agua de los 13 puntos mencionados anteriormente se clasifican como permisible (525-1 400 ppm), dudosa (1 400-2 100) e inadecuada (≥ 2 100) para ser utilizada en el riego. Ayers y Westcost (1994) también contemplan valores similares a Fipps (2003), pero con una diferente clasificación, pues en este caso indica valores de restricción del agua para ser utilizada en el riego; con base en esto se restringe severamente el uso del agua del brazo izquierdo río San Juan, aguas debajo de la descarga San Pedro 1, descarga municipal San Pedro 1, antes de las descargas y el río San Juan debido a que superan los 2 000 mg/l. Los valores elevados de SDT en estos puntos pueden

ISSN 0187-8336 •

deberse a la adición de contaminantes, lo que conlleva a descartar el uso de esta agua para el riego de hortalizas. Aunque dichas clasificaciones descartan el uso de determinadas fuentes de agua para el riego agrícola, ésta puede ser flexible en caso de considerar cultivos osmotolerantes como los que indica Fipps (2003). De igual manera, el acuerdo CE-CCA-001/89 señala esta flexibilidad en el uso de agua con niveles de sólidos disueltos totales superiores a 500 mg/l.

La conductividad eléctrica es otra medida que se emplea como indicador, en conjunto con otros parámetros, como sólidos disueltos totales o la adsorción de sodio, y de la salinidad del agua (Olías, Cerón, & Fernández, 2015; Sarabia-Meléndez *et al*., 2011). El alto contenido de sales en el agua reduce la productividad agrícola, al afectar a cultivos sensibles como frijol y fresa, entre otros; además de deteriorar la calidad del suelo (González-Barrios, Calderón-Villegas, Villa-Castorena, Inzunza-Ibarra, & Catalán-Valencia, 2014). De acuerdo con los resultados generados en este estudio, la medición de la conductividad eléctrica en la descarga municipal San Pedro 1 fue la más alta con 7580 µS/cm, en comparación con los otros 52 puntos de toma de muestra. A partir de la propuesta de Olías, Cerón y Fernández (2015) sobre la clasificación del laboratorio de salinidad de Estados Unidos (USLS, por sus siglas en inglés) que define cuatro clases de riesgo de salinización, las muestras de la descarga municipal San Pedro 1, vaso de la presa San Ildelfonso, brazo izquierdo del río San Juan y el punto antes de las descargas se encuentran en la categoría "muy alto" para el riesgo de salinidad, en donde se agrupan las mediciones superiores a 3 000 µS/cm (Olías *et al*., 2005). Fipps clasifica al agua de riego como excelente, buena, permisible, dudosa e inadecuada con base en la medición obtenida de conductividad eléctrica en µS/cm. De la misma forma, los puntos antes mencionados son clasificados como agua para riego inadecuada, pues exceden los 3 000 µS/cm, por lo que el agua de estos puntos no es adecuada para el riego por sus altos niveles de salinidad. Los puntos correspondientes a la descarga de la planta tratadora San Pedro 2, aguas debajo de la descarga San Pedro 1, descarga Ponderosa y el río San Juan se clasifican como agua dudosa, al tener de 2 000 a 3 000 µS/cm (clasificación de Fipps); en la clasificación del USLS modificada, estos puntos tienen un riesgo de salinidad alto, al tener de 1 500 a 3 000 µS/cm.

Como se mencionó en los resultados, la temperatura mínima y máxima en los cuerpos de agua fueron de 15 y 30 °C, respectivamente; la variabilidad de temperaturas obtenidas en los sitios pudieron deberse a la hora en que se realizó la toma de muestra, pues se sabe que la temperatura del agua está correlacionada con la hora del día y el mes (Zheng, 2017). Sin embargo, dichos autores refieren que esto no es relevante en la capacidad de supervivencia y en las tasas de proliferación de microorganismos coliformes fecales (Lessard & Sieburth, 1983; Rozen & Belkin, 2001; Cabral, 2010), por ejemplo, en el estudio de Davies y Evison (1991) no se encontraron diferencias en la tasa de supervivencia de *Salmonella Montevideo* a 5, 15 y 25 °C.

Los datos obtenidos respecto a la carga de coliformes fecales se compararon con los límites estipulados por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2015 y la NOM-001-Semarnat-1996. A pesar de que los límites establecidos están indicados con la unidad de número más probable (NMP), diversos estudios indican la equivalencia entre el NMP y las UFC empleadas en este estudio (California Regional Water Quality Control Board-San Francisco Bay Region, n.d.; Kougioulis, 2014; Office of Water Quality, 2006). De acuerdo con los resultados, 41 de los 53 puntos de los que se obtuvo muestra de agua presentaron un alto grado de contaminación biológica con respecto a la carga de coliformes fecales, que fue mayor a lo que indican las normas de referencia empleadas en este estudio.

Las aguas residuales municipales son las principales causas que afectan la calidad de cuerpos de agua y suelos debido a que la mayoría de las veces se descargan sin haber sido tratadas, o no se realiza el tratamiento adecuado

• ISSN 0187-8336

(Cervantes-Zepeda, Cruz-Colín, Aguilar-Corona, Castilla-Hernández, & Meraz-Rodríguez, 2011), como es el caso de las muestras que se obtuvieron de las diferentes descargas del DR 023, pues son muestras de agua tratada que no cumplen con los requerimientos establecidos en la NOM-001-Semarnat-1996 (figura 2). La única muestra que cumplió con lo que establece la norma fue la descarga Kimberly, que no presentó coliformes fecales. Tales resultados demuestran que estas aguas representan un riesgo potencial para la salud debido a que el agua contaminada y su mal tratamiento incrementa el riesgo de adquirir enfermedades como diarrea, cólera, disentería, hepatitis A y poliomielitis, entre muchas otras (OMS-Agua, n.f.). Por lo anterior, es indispensable que las aguas residuales reciban el tratamiento adecuado que garantice los requerimientos mínimos de calidad, para evitar la contaminación de ríos y presas. Contrario a lo que mencionan Cisneros-Estrada y Castanedo-Guerra (2014), las plantas tratadoras San Pedro I y San Pedro II no cumplen con los límites máximos permisibles por la NOM-001-Semarnat-1996 en cuanto al número de UFC de coliformes fecales, por lo que el uso de estas aguas para su uso agrícola no es recomendable.

La mayoría de las presas sobrepasa el límite máximo permisible, con excepción de la presa Constitución 1917 (figura 3), esto es preocupante debido a que no se sabe cuál es la fuente de contaminación en dichas presas; es probable que haya descargas clandestinas que provoquen dicha contaminación. En el caso de la presa San Ildelfonso, la muestra que corresponde al vaso tiene niveles muy altos de UFC (figura 3); sin embargo, las muestras que corresponden a la obra de toma no presentan UFC (cuadro 2). Esto quizá se deba a que los coliformes fecales se encuentran en la superficie y no en zonas profundas, pues no resisten mucho tiempo en el agua y requieren de condiciones muy específicas para su supervivencia (Madigan *et al*., 2004), y el agua liberada en la obra de toma es de la parte profunda de la presa San Ildelfonso. Las muestras que corresponden al río San Juan presentan niveles muy altos de contaminación, lo cual concuerda con reportes anteriores (De la Llata-Gómez, Rivera-Sánchez, Valtierra, Martínez-Reséndiz, & Montoya-Martínez, 2006), por lo que existe evidencia de contaminación biológica en el río San Juan y, además, existen reportes no sólo de contaminación biológica, sino también química, por lo que el uso de esta agua representa un riesgo para los habitantes de la zona (De la Llata-Gómez *et al*., 2006).

Es probable que en toda la red de distribución del DR 023 haya contaminación provocada por descargas clandestinas de las casas aledañas de la zona o de los establecimientos cercanos, como es el caso de invernaderos o fábricas, debido a que hay una variación en los niveles de contaminación por UFC de coliformes fecales, como se puede observar en las muestras que corresponden a las represas, sublaterales, laterales y canales principales; por ejemplo, el lateral 8+100 presentó niveles altos de coliformes y en la muestra que pertenece a la parte final del mismo no hubo presencia de coliformes, por lo que se sugiere que sólo hay una fuente de contaminación cercana al principio del lateral, sin embargo, cuando se realizó el muestreo, dicha fuente no fue detectada. Se tomaron muestras de drenes para hacer una comparación de los niveles de contaminación de aguas, que en teoría deberían estar tratadas y de aguas no tratadas, como es el caso de los drenes (cuadro 2); sin embargo, en el tanque amortiguador dren Caracol no se encontró la presencia de UFC de coliformes fecales, esto quizá se deba al lugar en el que se tomó la muestra.

Conclusión

Los datos fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del DR 023 provee información sobre la calidad de la misma. Se recomienda un monitoreo constante de los parámetros presentados, incluyendo la carga de coliformes, para poder avalar el uso de determinadas fuentes de agua para el riego de cultivos en la región, así como una supervisión más estricta de las operaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales

ISSN 0187-8336 •

debido a la elevada carga de coliformes fecales presentes en el agua de estas plantas del DR 023. La mala calidad del agua se debe a la presencia de fuentes de contaminación por descargas clandestinas, como casas aledañas, invernaderos y fábricas, así como al tratamiento inadecuado de las aguas que provienen de las plantas tratadoras de la zona, que alteran la calidad del agua para riego y nos alertan sobre el riesgo que corre la salud de la población que utiliza tales aguas; se puedan dar recomendaciones para evitar sembrar cultivos como hortalizas, que puedan infectarse por este tipo de aguas y que sean potencialmente dañinas para la población.

Agradecimientos

Al personal del Distrito de Riego 023, San Juan del Río, por su apoyo incondicional durante la toma de muestras: ingenieros Manuel Carrillo Mendoza y Yonatan Manjarrez, así como al señor Marcelino Morales. Al doctor José Antonio Cervantes Chávez por el espacio durante la realización de este proyecto y por permitirnos hacer uso del equipo para los análisis bacterianos. Finalmente se agradecen las sugerencias realizadas por los revisores, que sin duda mejoraron la calidad de este trabajo.

Referencias

3M Microbiology (2003). *3M TM Petrifilm TM placas para recuento de aerobios*. *3M TM Petrifilm TM. Guía de Interpretación*. St. Paul, USA: 3M Microbiology.

Ahumada-Santos, Y. P., Báez-Flores, M. E., Díaz-Camacho, S. P., Uribe-Beltrán, M. de J., López-Angulo, G. *et al*. (2014). Spatiotemporal distribution of the bacterial contamination of agricultural and domestic wastewater discharged to a drainage ditch (Sinaloa, Mexico). *Ciencias Marinas*, *40*(4), 277-289.

Ayers, R. S., & Westcost, D. W. (1994). Water quality evaluation. *Water Quality for Agriculture*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bonilla, M. N., Ayala-Osorio, A. I., González-Contreras, S., Santamaría-Juárez, J. D., & Silva-Gómez, S. E. (2016). Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 "Valsequillo" para riego agrícola. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa, 2*(3), 1-29.

Cabral, J. (2010). Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, *7*(10), 3657-3703.

California Regional Water Quality Control Board-San Francisco Bay Region. (n.d.). *Pathogens in the Napa River watershed total maximum daily load (TMDL)*. No. 510/622-2382. San Francisco, USA: California Environmental Protection Agency.

Cervantes-Zepeda, A. I., Cruz-Colín, M. R., Aguilar-Corona, R., Castilla-Hernández, P., & Meraz-Rodríguez, M. (2011). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *10*(1), 67-77.

Cifuentes, E., Blumenthal, U., Ruíz-Palacios, G., Bennett, S., & Peasey, A. (1994). Escenario Epidemiológico del uso agrícola del agua residual: el valle del Mezquital, México. *Salud Pública Méx.*, *36*(1), 3-9.

Cisneros-Estrada, O. X., & Castanedo-Guerra, L. V. (2014). Propuesta para integrar aguas residuales tratadas al riego agrícola en el Distrito de Riego 023. *XXIII Congreso Nacional de Hidráulica*, *1*(1), 127-131.

Conagua (2013). *Estadísticas del agua en México*. Vol. 1. México, DF: Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Conagua (2014a). *Estadísticas del agua en México*. Vol. 1. México, DF: Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Conagua (2014b). *Atlas del agua en México* (2014th ed.), vol. 1. México D.F.: Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Davies, C., & Evison, L. (1991). Sunlight and the survival of enteric bacteria in natural waters. *Journal of Applied Microbiology*, *3*(70), 265-274.

De la Llata-Gómez, R., Rivera-Sánchez, E., Valtierra, G. J., Martínez-Reséndiz, W. E., & Montoya-Martínez, A. (2006). *Caracterización de los ecosistemas, cambios en el uso de suelo y unidades paisajísticas en la reserva de la biosfera "Sierra Gorda" de Querétaro*. Querétaro: Concyteq.

Fipps, G. (2003). Irrigation water quality standards and salinity management strategies. College Station, TX, Publication Number B-1667. *Texas A&M Agrilife Extension*: Texas, USA: Texas A&M Uni. Publication. Collegue Satation.

González-Barrios, J. L., Calderón-Villegas, U., Villa-Castorena, M., Inzunza-Ibarra, M. A., & Catalán-Valencia, E. A. (2014). Impacto de la salinidad del agua de riego en la calidad del fruto de chile jalapeño. *Agrofaz*, *14*(2), 61-66.

Hernández-Acosta, E., Quiñones-Aguilar, E. E., Cristóbal-Acevedo, D., & Rubiños-Panta, J. E. (2014). Biological quality of wastewater used in irrigation of forage crops in Tulancingo, Hidalgo, Mexico. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *20*(1), 89-100.

Huibers, F. P., & Van Lier, J. B. (2005). Use of wastewater in agriculture: The water chain approach. *Irrigation and Drainage*, *54*(S1), S3-S9.

Kougioulis, J. (2014). *Triennial Review-Most probable number (MPN)/colony forming units (CFU) enumeration methods and proposed standards reporting revision*. New Mexico, USA: New Mexico Environment Department Resource Protection Division.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Parker, J., Brock, T. D., Fernández, C. R. *et al*. (2004). *Brock biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson Educación.

Lessard, E. J., & Sieburth, J. (1983). Survival of natural sewage populations of enteric bacteria in diffusion and batch chambers in the marine environment. *Applied and Environmental Microbiology*, *45*(3), 950-959.

Mazari-Hiriart, M., Ponce-de-León, S., López-Vidal, Y., Islas-Macías, P., Amieva-Fernández, R. I. *et al*. (2008). Microbiological implications of periurban agriculture and water reuse in Mexico City. Herman, C. (ed.). *PLoS ONE*, *3*(5), e2305.

Medema, G. J., Shaw, S., Waite, M., Snozzi, M., Morreau, A. *et al*. (2013). Catchment characteristics and source water quality (pp. 111-158). In: *Assessing Microbial Safety of Drinking Water Improving Approaches and Method*. London: WHO & OECD, IWA Publishing.

Megchún-García, J. V., Landeros-Sánchez, C., Soto-Estrada, A., Castañeda-Chávez, M. R., Martínez-Dávila, J. P. *et al*. (2015). Total coliforms and *Escherichia coli* in surface and subsurface water from a sugarcane agroecosystem in Veracruz, Mexico. *Journal of Agricultural Science*, *7*(6), 110-119.

Office of Water Quality (2006). *Total maximum daily load for* Escherichia coli *(*E. coli*) for the plummer creek watershed, greene county* (pp. 1-12). Indianapolis, USA: Indiana Department of Environmental Management.

Olías, M., Cerón, J. C., & Fernández, I. (2015). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 37, 111-113.

Olivas-Enriquez, E., Flores-Margez, J. P., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J. *et al*. (2011). Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al río bravo. *Terra Latinoamericana*, *29*(4), 449-457.

OMS-Agua (n.f.). *WHO*. Consultado el 20 de marzo de 2016. Recuperado de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/.

Pescod, M. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Rozen, Y., & Belkin, S. (2001}. Survival of enteric bacteria in seawater. *FEMS Microbiology Reviews*, *25*(1), 513-529.

Saldaña-Fabela, M. del P., Díaz-Pardo, E., & Gutiérrez-Hernández, A. (2011). Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses en cascada, cuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *2*(3), 115-126.

Sarabia-Meléndez, I. F., Cisneros-Almazán, R., Aceves-de-Alba, J., Durán-García, H. M., & Castro-Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, *27*(2), 103-113.

Vázquez-Sánchez, G., & Pineda-López, R. (2010). Propuesta de creación de un área de protección de recursos naturales en la cuenca alimentadora del Distrito de Riego 023 San Juan del Río, Querétaro. *Ciencia@UAQ*, *3*(1), 61-70.

Zheng, H. (2017). Chapter 5: Active solar distiller (pp. 323-446). In: *Solar Energy Desalination Technology*. Zheng, H. (ed.). Beijing: Elsevier.

Dirección institucional de los autores

Lic. Nami Morales-Durán
Lic. Anaí de la Torre-González
Lic. Víctor García-Sánchez

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Laboratorio de Microbiología Molecular
Avenida de las Ciencias s/n, Col. Juriquilla
76230 Querétaro, Querétaro, México
Teléfono: + (52) (442) 192 1200 ext. 65216
nmorales17@alumnos.uaq.mx
edelatorre05@alumnos.uaq.mx
vgarcia10@alumnos.uaq.mx

Dr. Carlos Chávez

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones del Agua
Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas
76010 Querétaro, Querétaro, México
Teléfono: + (52) (442) 192 1200 ext. 6036
chagcarlos@uaq.mx